农业图书情报学报
DOI：10.13998/j.cnki.issn1002-1248.23-0750

基于多层网络的科学–技术微观知识流动分析框架研究

吴　宁[1,2]，杨艳萍[1,2*]
（1. 中国科学院文献情报中心，北京　100190；2. 中国科学院大学 经济与管理学院图书信息资源管理系，北京　100190）

摘　要：［目的 / 意义］知识如何在科学与技术间流动并推动创新是情报学领域的一个热点问题。本研究将从微观层面揭示科学与技术之间的知识流动网络结构特征，为发现新的知识流动传播路径，理解科学与技术之间的联系和挖掘创新突破点提供新思路。［方法 / 过程］本研究基于专利和论文数据并利用多层网络的方法，构建了科学 - 技术二维知识流动微观网络分析框架，并以转基因玉米为例开展了实证研究，验证了对科学 - 技术知识流动结构特征进行细粒度揭示的可行性。［结果 / 结论］本研究提出的分析框架可以揭示微观视角下的知识流动特征，并能够在转基因玉米实证案例中识别出两类知识流动结构，拓展和丰富了知识流动相关研究。未来，本研究提出的科学 - 技术二维知识流动研究框架可进一步扩展，通过改变知识主体类型、丰富知识属性因素、扩展知识流动路径得到更广泛的应用。

关键词：科学 - 技术关联；知识流动；多层网络；知识产权；技术预测
中图分类号：G258　　文献标识码：A　　文章编号：1002-1248（2023）11-0040-13

引用本文：吴宁，杨艳萍. 基于多层网络的科学 - 技术微观知识流动分析框架研究[J]. 农业图书情报学报，2023，35（11）：40-52.

科学和技术是决定科技创新方向的两股重要力量，两者交互融合对于社会进步和人类发展产生了深远影响[1]。科学和技术都具有知识的本质属性，科学是知识创造和传播的主要来源，为技术的创新提供知识基础；而技术的突破和创新则直接促进了科学的进步[2]。科学和技术之间的互动实际上是一种知识流动和创新的过程，两者的交叉渗透过程伴随着知识的交互碰撞，从而促进新的知识积累和知识优势的形成，成为重大创新的起点。因此，基于情报学视角来研究科学 - 技术的知识传播规律，这对于鉴别重要的科学领域、预测技术创新方向以及通过优化科技政策提高创新效率具有重要的意义。

1　研究现状

1.1　科学–技术知识流动关联

科学与技术关联本质上也是知识在二者之间创造、传播、吸收、利用的过程。一方面，技术领域间不是独立存在的，领域间的知识关联特征影响着技术间的知识发送与接收过程；另一方面，科学为技术提供理论基础，并指明发展方向与演化路径，技术对科学知

收稿日期：2023-12-04
基金项目：中国科学院文献情报能力建设专项（E1290423）
作者简介：吴宁（1998- ），女，硕士，研究方向为情报学理论方法与应用
*通信作者：杨艳萍（1982- ），女，研究员，博士，研究方向为情报学理论方法与应用。Email：yangyp@mail.las.ac.cn

识的利用情况也影响着技术间知识流动。

在技术经济学视角下，相关研究聚焦于区域创新中企业和基础科研机构的关联关系。在经济发展过程中，经济管理者会从有利于本地经济发展的角度出发，在地域内统筹规划，为两者构建知识关联和转移的通道。因此，基础科研机构和技术开发机构在空间上分布的邻近性与两者间知识关联及流动强度会表现出一定的相关性。例如，JAFFE 等[3]以美国、法国、东欧范围内基础科研机构和创新型企业为研究对象，通过对其地理空间凝聚现象的分析，揭示了创新主体对应的科学 - 技术领域间知识流动模式与强度；AUTANT-BERNARD 等[4]分析了公共部门和私营部门研究活动的外部性是否在地理上受到限制以及是否受到部门间邻近性的影响；刘雨梦等[5]关注产学研合作中“科学 - 技术 - 工程”活动之间的协同关系，并揭示了协同创新主体间知识关系以及科学的治理模式。

在科学计量学和文献计量学视角下，相关研究主要以论文和专利为载体分别表征科学与技术间的知识关联关系。研究人员认为科技文献等媒介为科学 - 技术间知识的传播提供了桥梁，创新主体可以引用其他地区甚至其他国家的文献，实现知识的跨地区传播。同时，论文和专利可代表科学和技术知识，作为测度科技进步、预测趋势和规划发展战略的依据，以确定创新的传播路径和评估创新的价值[6]。例如，文剑英[7]等认为，知识在文献间引用过程中从被引用者传递到引用者，并且在参考和学习被引用文献的基础上得到进一步创新，文献被引证的次数越多代表其知识应用和扩散越广；NARIN 等[8]指出，几乎所有的科技成果需要前人的研究工作为基础，专利的引用关系是知识流动的重要表征形式；赖奎魁[9]认为，专利引证是一种更具技术扩散意义的行为；VERBEEK[10]认为，企业创新人员对科研文献的吸收、认同和再利用是连接科学与技术知识的桥梁，也是推动科学成果技术转化的关键环节。

1.2 科学–技术知识流动测度

现有研究主要基于论文与专利的引用关系，探究了科技论文与专利文献之间的单向引证及混合引证现象，揭示了科学与技术、基础研究与技术创新之间的相互联系、影响和促进关系[11]。

1.2.1 专利引用论文

在如今学科日益分化、理论体系更加专业化的大背景下，技术知识更多地来源于学科交叉和融合的领域[12]。专利引用论文体现了科学研究中的理论知识与实验经验流向和扩散至技术研发，并揭示了具体科学知识向不同技术领域的知识扩散轨迹，从而反映了科学研究对技术研发的作用。NARIN[8,13]对生物技术领域专利引用论文及专利之间的引用关系进行了分析，揭示了技术与科学之间相互影响和促进的关系，并发现了美国国内科研界的科学与技术间的知识关联程度每 6 年会增加两倍；SCHMOCH[14]从多种角度对代表性的专利引文进行了分析，并证明了两者之间存在着多方面且强度不同的相互作用；Clarivate Analytics 集团将“论文被专利引用的影响力”作为其论文评价体系的一项指标，以测度在学术背景下基础研究对商业开发的冲击和影响[15]。

1.2.2 论文引用专利

论文引用专利反映了科学研究对技术知识的吸收，也表现出技术发展对科学研究的推动作用。一般而言，专利被论文引用的频率越高，所涉及的知识传播范围越广，技术的原创性也就越高，因此更有价值[16,17]。例如，MEYER 等[18]发现，与专利引用论文相比，更多引用专利的论文具有更高的学术影响力，这些论文更容易被其他论文引用。论文引用专利相关研究通常从技术关联度、论文引用专利的空间分布和专利分类号等描述性指标入手，定量测度技术对科学的影响程度。例如，GLÄNZEL 等[19]分析 SCI 论文和美国专利局的专利数据后发现，化学专利是最常被引用的类型，其次是药品和医疗专利。

1.2.3 混合引用

单向的引用分析难以反映科学和技术间的融合、渗透及相互作用，因此，基于专利与论文间双向引用关系的混合引用分析方法开始被广泛用于测度科学 - 技术关联。例如，高继平等[20-22]提出了一种论文 - 专利

DOI：10.13998/j.cnki.issn1002-1248.23-0750

混合共被引分析法，利用谱聚类算法揭示了技术扩散中的知识结构，从而总结出科学、技术在不同时期承担的功能和主导作用；HUANG 等[23]以燃料电池领域为例，分析了其论文和专利的交叉引用情况，发现了该领域科学 - 技术关联收敛性更强，并且论文对专利的引用比专利引用论文对时间更为敏感；YU 等[23]基于已有研究的基础，提出了一种知识发现识别方法，将主路径分析和机器学习等方法相结合，从科学 - 技术联动视角出发构建 S&T 之间的联系，识别潜在的知识发现，实现了引文分析和语义分析的融合。

科学与技术是一个复杂的系统和过程。然而，目前相关研究多从科学或技术单一维度展开分析，难以揭示两者间复杂的交互关系。此外，多数研究采用理论模型、统计指标、主题挖掘等方法对两者间关联进行了抽象性的规律总结或统计性的数值分析，缺少从更细粒度网络结构视角对知识流动进行具象化结构识别。

为此，本研究将科学、技术视为整体，并基于多层网络理论构建多维知识流动微观结构分析框架，以挖掘科学和技术间知识流动的关系，发现潜在的知识流动路径，从而更好地促进两者融合与转化。

2 研究设计与方法流程

本研究将知识流动定义为知识从知识创造者到知识接受者的扩散、吸收、传递过程，将科学、技术领域类别作为本研究的知识流动主体，以知识节点间的网络结构表征知识流动结构。

本研究分析框架涉及数据收集与关系提取、多层网络绘制、模型搭建和知识流动 4 个方面，具体如图 1 所示。

2.1 数据收集

本研究的数据来源于 Incopat、Lens、Web of Science 核心合集（表 1），并在此基础上构建了专利和科技论文间的引用关系。其中，Incopat 数据库主要用于导出对应的前引专利条目；LENS 数据库整合了专利和学术资源，用于导出专利与参考文献的对应关系，找到技术发明与学术研究的关联；WOS 数据库中用于摘取专利参考论文的学科类目信息。

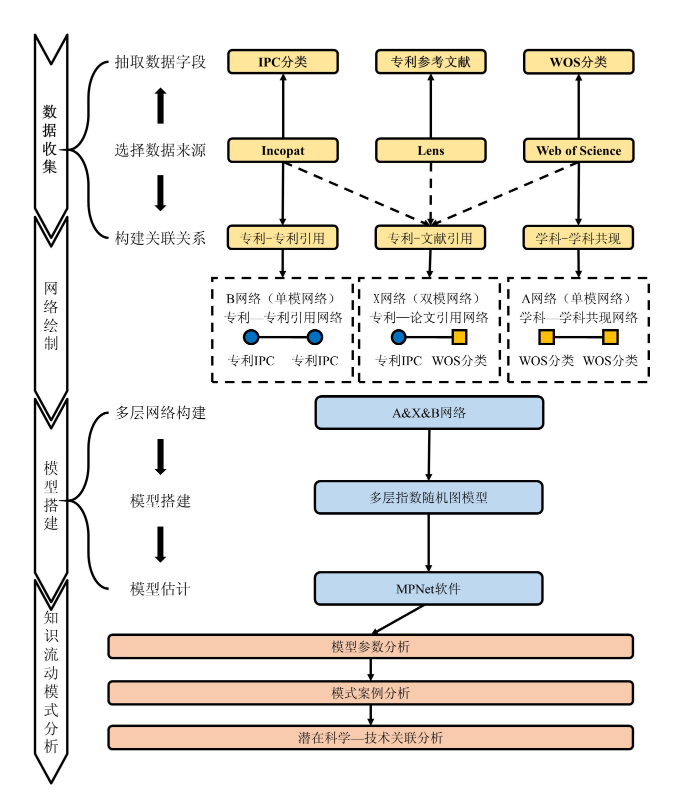


图 1 基于多层网络的科学 - 技术知识流动研究框架

Fig.1 Research framework

相关数据处理流程如图 2 所示。首先，在 Incopat 数据库中检索目标领域专利，统计对应的专利公开号、IPC 分类号及对应的前引专利。其次，在 Lens 数据库中，通过目标领域专利和前引专利的公开号，检索得到全部专利，统计其公开号与参考论文 DOI 的对应字段。最后，在 Web of Science 核心合集中，通过参考论文 DOI 进行检索，统计参考论文 DOI 与 WOS 类别字段。根据目标专利与前引专利、专利与参考论文之间的对应关系，经过抽取并去重，得到目标专利 IPC- 前引专利 IPC、专利 IPC- 论文 WOS 分类、论文 WOS 分类 - 论文 WOS 分类 3 种对应关系条目。

2.2 网络绘制

多层网络是由多个单层网络组成的网络集，其中的每个单层网络构成一个网络层，网络层间存在多属性、多类型的连接[24,25]。多层网络突破了节点和边的同质性限制，考虑了多种类型节点及其连接关系，可以

表 1 数据来源

Table 1 Data sources

数据库	网址	特点	抽取关系
Incopat	https://www.incopat.com/	IncoPat 专利数据库收录 120 个国家、地区和组织，超过一亿件的专利文献，数据采购自官方和商业数据提供商，每周更新。提供了简单检索、表格检索、指令检索、批量检索、引证检索、法律检索、语义检索、扩展检索等多种检索方式	专利-前引专利
LENS	https://www.lens.org/	LENS 是一款免费开放的专利+学术检索数据库，提供跟专利相关的全球学术知识和分析服务。LENS 的数据资源类型包括专利、学术数据、生物序列、文档链接	专利-参考论文
WOS	https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/	Web of Science 提供对多个数据库的访问，这些数据库提供来自学术期刊、会议记录和其他各种文档的参考和引文数据	论文-学科类别

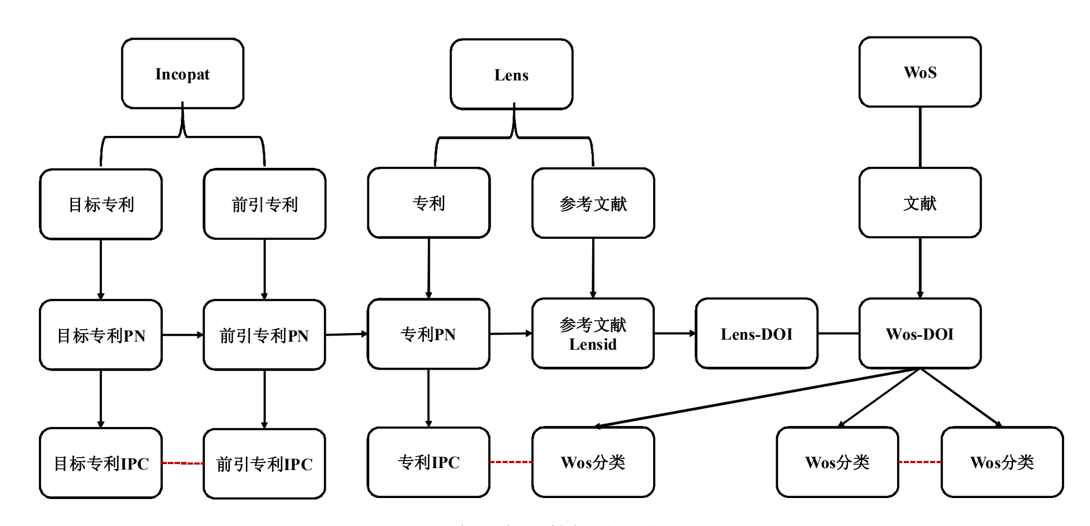


图 2 本研究的数据处理流程图

Fig.2 The data processing flow chart

揭示性质各异的子网络之间相互影响、相互依赖的关系，在描述和分析多属性关联的复杂系统时更具优势。

本研究基于多层网络理论，将专利引用网络与科学知识交叉网络构建为单模网络层，以专利与文献的引用关系作为层间关系，组成相互依存网络，并通过该多层网络系统来分析技术领域间知识流动、科学知识间交叉融合、科学知识转化等复杂系统相关特征。具体如下：

首先，在技术维度，本研究基于专利引用关系来表征技术知识流动情况，并构建了专利 - 专利引用网络（有向网络 B）。其中，该网络为单模网络，节点为 IPC 分类号，节点间连接代表两个专利类别间的引用情况及方向。

其次，在科学维度，论文的不同学科标识蕴含着两个学科间知识的相互交融重组。因此，本研究以学科表征科学研究，通过学科类别共现关系来捕捉科学领域间相互的知识流动关系，并构建了学科 - 学科共现网络（无向网络 A）。该网络为单模网络，节点为学科类别，节点间连接代表两种学科类别在同一文献中的共现情况。

最后，结合科学和技术两个维度，本研究基于专利对论文的引用关系，构建了专利 - 论文引用网络（无向网络 X）。该网络为二分网络，网络中有两类节点，分别为 IPC 分类号与学科类别，不同类别节点间连接代表技术对科学知识的应用，相同类别节点间无连接。同时，该网络将单层的专利 - 专利引用网络与学科 - 学科共现网络连接起来，组成一个多层网络，如图 3 所示。

DOI：10.13998/j.cnki.issn1002-1248.23-0750

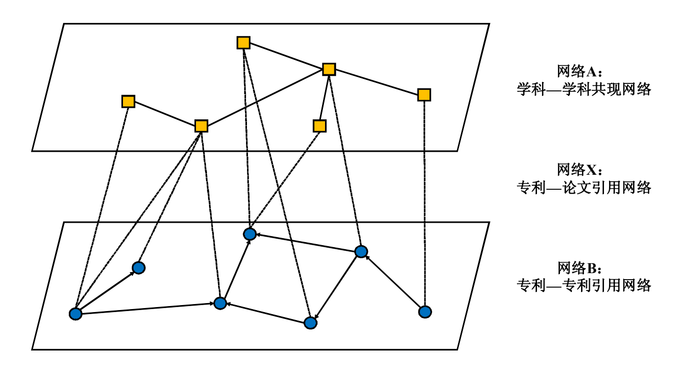


图 3 科学 - 技术间知识流动的多层网络示例图

Fig.3 The example diagram of a multi-layer network

2.3 模型搭建

为对多层网络进行量化分析，本研究构建了多层指数随机图模型。多层指数随机图模型（Multilevel Exponential Random Graph Models，MERGMs）是对一般指数随机图模型在多层网络（Multi-Level Network）上的扩展，是目前少有的可直接评估不同网络层间相互依赖关系的方法。该模型认为网络之间并不是独立存在的，一层网络的存在可能会对另外一层网络产生影响，适用于二层级网络的 MERGMs 的概率公式表示为：

$$\Pr(A=a,X=x,B=b)=\frac{1}{K(\theta)}exp\sum_{Q}\{\theta_Q Z_Q(a)+\theta_Q Z_Q(b)+$$
$$\theta_Q Z_Q(x)+\theta_Q Z_Q(a,x)+\theta_Q Z_Q(b,x)+\theta_Q Z_Q(a,x,b)\}$$

其中：$Z_Q(a)$和 $Z_Q(b)$是针对一模网络的一般 ERGM 配置，包括网络结构效应和外生属性效应的统计项；$Z_Q(x)$是针对二分网络的 ERGM 配置；$Z_Q(a,x)$、$Z_Q(b,x)$以及 $Z_Q(a,x,b)$是遵循 WANG 等[26]对多层网络的二层级 ERGM 配置。θ_Q 是效应 Z_Q 对应的参数向量，衡量各统计项的相对重要性；$K(\theta)$是确保公式概率分布的标准化常数，与一般 ERGM 中的 $K(\theta)$类似。

该模型可在 MPNet 软件中实现，使用马尔可夫链蒙特卡罗最大似然估计算法进行参数估计，并基于仿真策略建模进行拟合优度检验。

2.4 知识流动模式分析

结合 MPNet 软件定义的指标图例与上述多层指数随机图模型计算结果，总结技术与学科间知识流动规律。当多层指数随机图模型指标计算结果为正时，表示该指标所代表的图结构有较高的可能性发生，计算结果为负时则相反，因此可凭借图结构指标计算结果的正负情况来评估节点间知识流动的发生可能性。进一步，根据前期提取的数据关系内容，选取具体的技术与学科领域进行案例分析。

3 实证研究

玉米是全世界种植范围最广、产量最高的主要作物，也是杂交种应用最早、普及最广的作物之一。转基因玉米作为玉米育种和生产领域的重大的技术突破，为保持玉米稳产增产起到关键的作用[27]。转基因玉米的发展是生命科学、基因组学、信息学等领域交叉融合的结果，同时伴随着不同领域间的知识流动，相关技术创新网络呈现出虚拟化、国际化以及知识化趋势。本研究以转基因玉米领域为例，对所构建的科学 - 技术微观知识流动分析框架进行研究和验证。

3.1 数据来源与处理

本研究相关数据来源于 Incopat、Lens、Web of Science 核心合集等数据库。其中，在 Incopat 数据库中检索得到 5 430 件转基因玉米专利以及与 7 583 条前引专利信息；在 Lens 数据库中检索得到 37 062 条专利与参考论文对应关系；在 Web of Science 数据库中检索得到 10 277 篇相关参考论文信息。相关结果如表 2 所示。

3.2 知识流动多层网络绘制

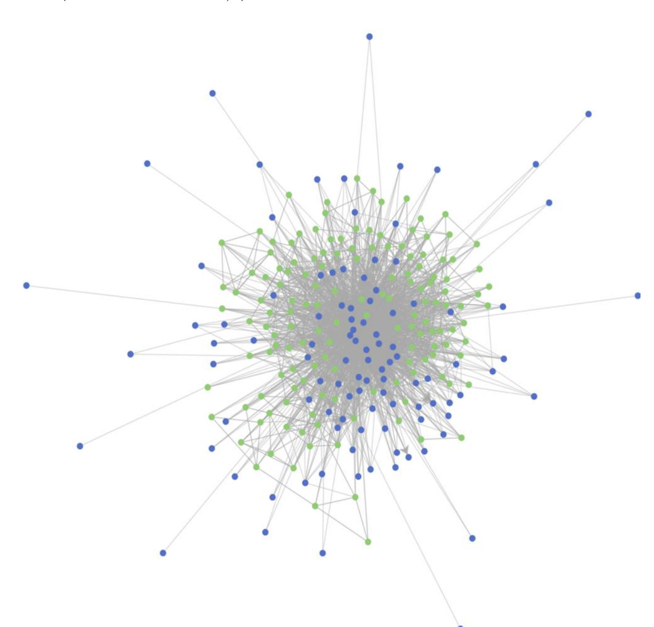
根据抽取的数据条目对应关系，本研究分别绘制 3 个单层网络。其中，以专利 IPC 分类号为节点，以专利引用关系为连接，共得到 78 个节点和 423 条连接，绘制得到单模网络 B，即专利 - 专利引用网络；以论文 WOS 分类号为节点，以学科共现关系为连接，共得到 132 个节点和 844 条连接，绘制得到单模网络 A，即学科 - 学科共现网络；分别以专利 IPC 分类号、论文 WOS 分类为节点，以专利 - 论文引用关系为连接，得到 1 005 条连接，绘制得到双模网络 X，即专利 - 论文

表 2　转基因玉米相关数据处理结果

Table 2 Data processing results

文献类别	数量/条	抽取关系	数量/条
转基因玉米专利	5 430	转基因玉米专利 IPC-前引专利 IPC	423
前引专利	7 583	专利 IPC-论文 WOS 分类	1 005
参考论文	10 277	论文 WOS 分类-论文 WOS 分类	844

引用网络。在上述基础上，根据不同节点将两个单模网络连接起来，组合为单模 - 双模 - 单模的多层网络模型（A&X&B 网络），具体如图 4 所示。



* 注：蓝色节点为专利 IPC 分类号，绿色节点为论文 WOS 分类

图 4　转基因玉米领域科学 - 技术知识流动多层网络

Fig.4 Multi-layer network of the science-technology knowledge flow

3.3 多层指数随机图模型搭建

本研究根据构建的多层网络及 MPNet 软件提供的网络参数，结合网络节点连接方向性，选取了 6 个参数，搭建多层指数随机图模型，具体如表 3。

根据参数图结构的相似性，本研究共得到两种知识流动结构（结构一和结构二），即“基于交叉学科产生的技术领域知识流动倾向”和“基于两个交叉学科产生的技术领域间知识流动倾向”。其中，参数 L3AXBin、L3AXBpath 用于检验基于交叉学科产生的技术领域知识吸收与扩散情况；参数 AinASXAinBS、AinASXAoutBS 在参数 L3AXBin、L3AXBpath 基础上，增加了交叉学科涉及领域与技术知识流动范围，用于检验交叉领域较多的情况下，技术节点的知识吸收与扩散强度；参数 C4AXBexchangeAreciprocity、C4AXBexchangeBreciprocity 用于检验分别基于两个交叉学科产生的技术领域间知识流动倾向。

3.4 科学–技术知识流动微观结构特点分析

经 MPNet 软件计算，本研究得到的模型中共有 5 个显著参数，其中 3 个显著为正，两个显著为负，总结得到两种知识流动微观结构。

3.4.1 科学 - 技术知识流动结构一

该类知识流动结构表现出以下特点：引用交叉学科知识的技术节点知识吸收和扩散性较差，但当学科交叉领域较多时，技术节点的知识吸收性和扩散性较

表 3　多层指数随机图模型参数分析

Table 3 Parameter analysis of MERGM

检验结构	参数	模型解释
结构一：基于交叉学科产生的技术领域知识流动倾向	L3AXBin	引用交叉学科知识的技术节点是否更容易吸收技术知识
	L3AXBpath	引用交叉学科知识的技术节点是否更容易扩散技术知识
	AinASXAinBS	引用多交叉学科知识的技术节点是否有较强的技术知识吸收性
	AinASXAoutBS	引用多交叉学科知识的技术节点是否有较强的技术知识扩散性
结构二：基于两个交叉学科产生的技术领域间知识流动倾向	C4AXBexchangeAreciprocity	引用对应交叉学科知识的技术节点间是否容易发生单向流动
	C4AXBexchangeBreciprocity	引用对应交叉学科知识的技术节点间是否容易发生交互流动

DOI：10.13998/j.cnki.issn1002-1248.23-0750

好。根据交叉学科数量的差异，该类结构又可进一步细分为两类不同的知识流动模式。

（1）基于单一交叉学科产生的技术领域与其他领域发生知识交流的可能性较小。如表 4 所示，参数 L3AXBin 和 L3AXBpath 均显著为负，说明引用交叉学科知识的转基因玉米技术领域不容易吸收技术知识，引用交叉学科知识的技术节点也不容易流向转基因玉米技术。

表 4　单一学科的多层指数随机图模型参数结果分析

Table 4 Analysis of parameter results of MERGM in a single subject

参数	图例	估计值	Stderr
L3AXBin		-0.022 5*	0.000 9
L3AXBpath		-0.028 5*	0.001 5

* 注：黄色节点为学科类别，蓝色节点为技术领域，下同

（2）基于较多交叉学科产生的技术领域具有较强的知识吸收性和扩散性。如表 5 所示，参数 AinASX-AinBS 和 AinASXAoutBS 均正向显著，表明当学科间交叉范围较大时，转基因玉米技术领域反而会有较强的知识吸收性，同时学科交叉范围较广的技术领域也更容易扩散至多种转基因玉米技术。在转基因玉米技术领域，基于多交叉学科产生的技术其涉及的技术方法汇聚了多学科的相关知识，技术复杂性较高，因而会更可能参考其他领域技术开发方法，或对其他领域技术的发明过程有所借鉴参考。

为了进一步探究其中细节，本研究选取其中典型案例进行详细分析。

（1）科学 - 技术知识流动案例 1。多学科知识的利用以及基因操控技术的吸收。如图 5、表 6 所示，专利 A1 鉴定到了一个最佳天然基因组基因座，并借鉴了计算机科学、数学与计算生物学、生物技术与应用微生物学、生化研究方法交叉领域相关论文 A1 中新的基因测序工具开发方法，同时吸收了其他技术领域锌指蛋白结构、位置识别以及基因打靶方法。

（2）科学 - 技术知识流动案例 2。多学科知识的利用与基因筛选技术方法的扩散。如图 6、表 7 所示，专利 B1 确定了一种除草相关基因并设计了重组载体，同时借鉴了药理学、微生物学、生物技术与应用微生物学、免疫学交叉领域论文 B1 中链霉菌素抗性基因的克隆和表征方法；同时，该技术表现出较强扩散性，该专利的抗性基因筛选方法被其他专利引用，用于转录因子、玉米基因组位点及除草剂耐受性等方面的提升分析。

3.4.2　科学 - 技术知识流动结构二

（1）该类知识流动结构表现出以下特点。引用对应交叉领域知识的技术节点间容易发生单向的知识流动。如表 8 所示，参数 C4AXBexchangeAreciprocity 显著为正，说明当转基因玉米技术与其他技术的对应科学领域间产生交叉时，转基因玉米技术更容易吸收该领域技术知识。基于两个交叉学科产生的技术方法，其底层科学知识之间已存在融合趋势，两种技术间也会有相互关联，促进知识流动的发生。

（2）科学 - 技术知识流动案例。多学科知识的利用与遗传性状的传递。如图 7、表 9 所示，专利 C1 发现了提高细菌和植物草甘膦除草剂耐受性的 II 类 EPSPS

表 5　多交叉学科的多层指数随机图模型参数结果分析

Table 5 Analysis of parameter results of MERGM of multi-interdisciplinary subjects

序号	参数	图例	估计值	Stderr	详细案例
1	AinASXAinBS		0.082 5*	0.003 5	案例 1
2	AinASXAoutBS		0.087 4*	0.005 6	案例 2

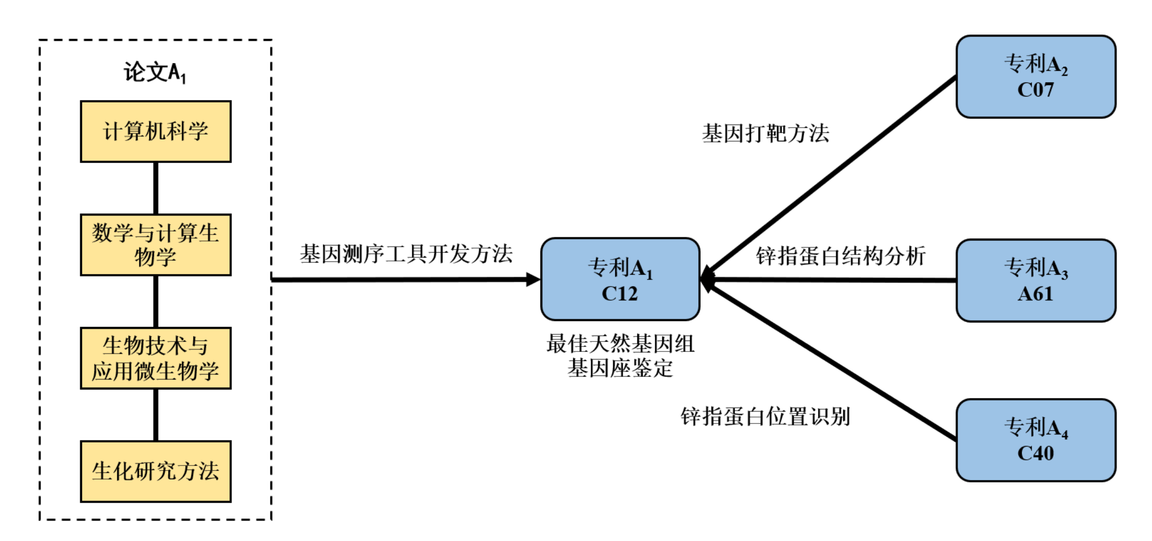


图 5　科学 - 技术知识流动微观网络结构案例 1

Fig.5　Micro-network structure case 1

表 6　科学 - 技术知识流动微观网络结构案例 1 相关文献

Table 6　Related literature of micro-network structure case 1

文献序号	文献 ID	所属领域	标题	发表/公开年份	所属机构
论文 A_1	10.1093/bioinformatics/btr167	生化研究方法 计算机科学 数学与计算生物学 生物技术与应用微生物学	Bismark：用于亚硫酸氢盐测序应用的灵活对齐器和甲基化调用器	2011	The Babraham Institute
专利 A_1	WO2015066638A2	C12 生物化学与基因工程	最佳玉米位点	2015	Corteva Agriscience
专利 A_2	US20050026157A1	C07 有机化学	使用嵌合核酸酶刺激基因打靶	2002	California Institute of Technology
专利 A_3	US20050267061A1	A61 医学或兽医学、卫生学	用于治疗神经病和神经变性病症的方法和组合物	2005	Sangamo Therapeutics Inc
专利 A_4	US6013453A	C40 组合技术	用于识别 DNA 的结合蛋白	2000	Gendaq Ltd

酶编码基因，并借鉴了生物化学与分子生物学、基因与遗传学交叉领域论文 C1 生物合成遗传研究方法。专利 C2 描述了一种转基因玉米事件，它不仅吸收了论文 C2 中核苷酸序列研究分析方法，同时还遗传和继承了专利 C1 中的耐除草剂基因，并最终形成了具有重要商业化生产价值的转基因玉米品种 MON87403。

4 展　望

本研究构建了科学 - 技术两层知识流动网络及随机指数图模型，并以转基因玉米领域为例开展了实证研究，共发现 5 个显著参数，总结得到两种知识流动结构。上述研究表明，本研究提出的二维知识流动研究框架可将抽象的知识扩散、吸收过程以可视化的形式展现出来，并能够识别微观的知识流动结构。本文借鉴已有研究基于文献引用与主题共现表征知识流动的方法，分别构建专利引用网络与学科交叉网络，再根据专利对论文的引用情况将二者连接起来，将常见的计量学单层网络扩展至多层，丰富了已有情报学研究思路，为文献网络计量学的广泛应用提供了新思路。

基于上述总结得到的知识流动结构特征，我们还可以通过分析科学 - 技术之间的关联来发现潜在的技

DOI：10.13998/j.cnki.issn1002-1248.23-0750

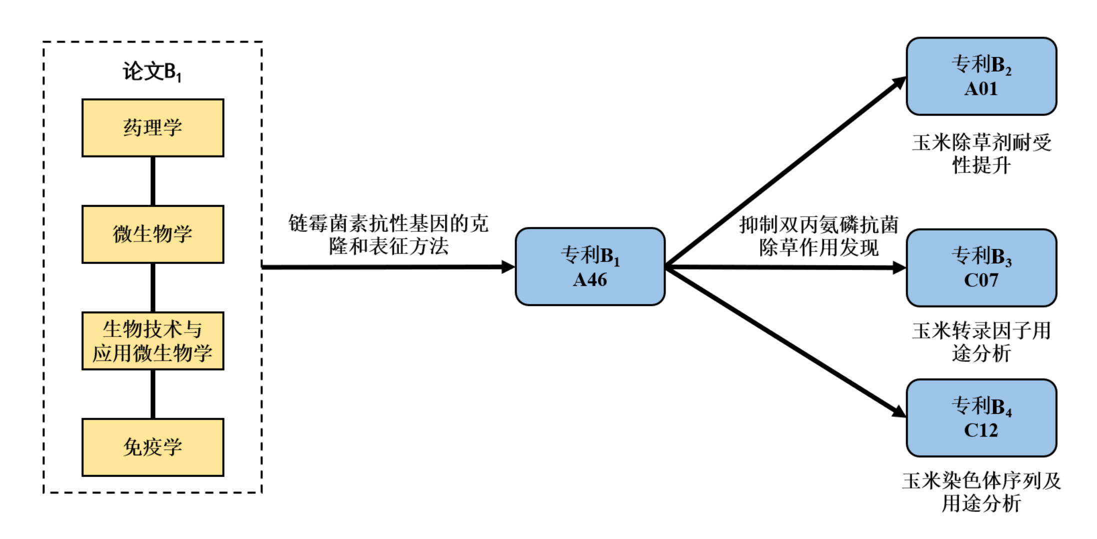


图 6 科学 - 技术知识流动微观网络结构案例 2

Fig.6 Micro-network structure case 2

表 7 科学 - 技术知识流动微观网络结构案例 2 相关文献

Table 7 Related literature of micro-network structure case 2

文献序号	文献 ID	所属领域	标题	发表/公开年份	所属机构
论文 B_1	10.7164/ antibiotics.39.688	生物技术与应用微生物学 免疫学 微生物学 药理学	编码来自薰衣草链霉菌的链霉菌素乙酰转移酶的链霉菌素抗性基因的克隆和表征	1986	The University of Tokyo
专利 B_1	US5561236A	A46 刷类制品	对谷氨酰胺合成酶抑制剂表现出抗性的基因工程植物细胞和植物、用于生产所述细胞和植物的 DNA 片段和重组体	1996	Bayer AG
专利 B_2	WO2015089014A1	A01 农业、林业、畜牧业	2,4-D-和草铵膦耐受大豆、玉米、棉花中的 2,4-D-胆碱和草铵膦的组合协同提高除草剂杂草控制和提高作物耐受性	2015	Corteva Agriscience
专利 B_3	WO2014160122A1	C07 有机化学	玉米胁迫相关转录因子 18 及其用途	2014	Bayer AG
专利 B_4	WO2017059341A1	C12 生物化学与基因工程	重组玉米 B 染色体序列及其用途	2017	Bayer AG

表 8 知识流动结构二相关的多层指数随机图模型参数结果分析

Table 8 Analysis of parameter results of MERGM related to knowledge flow structure 2

序号	参数	图例	估计值	Stderr
1	C4AXBexchangeAreciprocity		0.016 1*	0.000 8
2	C4AXBexchangeBreciprocity		-0.000 5	0.000 4

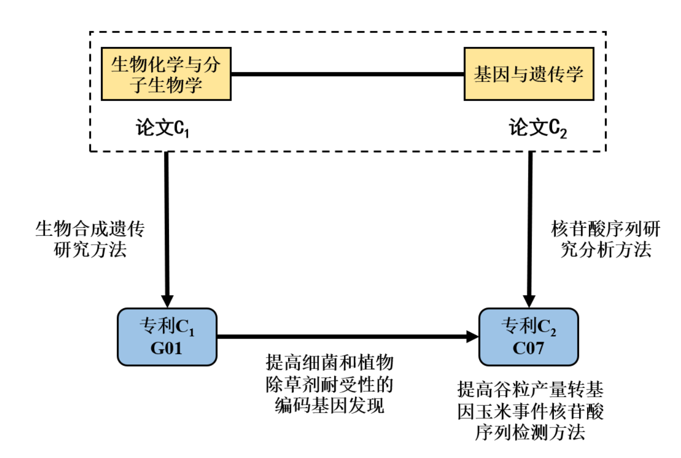


图 7　科学 - 技术知识流动微观网络结构案例 3

Fig.7　Micro-network structure case 3

术流动形式，进而找到新的技术创新点。例如，本研究发现了五个显著参数中有 3 个参数为正，并可根据两个知识流动结构推测出可能存在的 3 种正相关关系以及潜在的知识流动微观结构。具体包括：根据结构一中的“基于较多交叉学科产生的技术领域具有较强的知识吸收性和扩散性”特点（如表 5 参数一、二所示结构），可以推断出与多领域学科交叉关联的技术点在参数 AinASXAinBS 条件下会更易产生多技术吸收、在 AinASXAoutBS 条件下则会更倾向发生技术扩散，因此创新主体未来可以关注那些与多学科领域发生交叉科学节点以及相互关联的技术；根据结构二中的“引用对应交叉科学领域知识的技术节点间容易发生单向的知识流动”特点（如表 8 参数一所示结构），可推断在 C4AXBexchangeAreciprocity 参数条件下的两个技术节点之间可能存在技术吸收或扩散。

本研究也存在一些局限性。一方面，由于科学 - 技术知识流动网络的构建是基于专利 - 论文的引用关系，因此本研究方法对专利 - 论文间的引用关系密度具有较高的要求，更适用于信息科学、生物科学等存在专利 - 论文引用频次较高的领域，较难对数学、社会科学等专利 - 论文引用关系较少的领域进行有效分析。此外，本研究提出的二维知识流动研究框架只涉及了科学和技术两个维度，未来也可进一步扩展到其他方面。例如，通过改变知识主体类型、丰富知识属性因素、扩展知识流动路径得到更广泛的应用，或聚焦于知识流动结构与领域自身特征间的关系探究。

参考文献：

[1] SHIBATA N, KAJIKAWA Y, SAKATA I. Extracting the commercialization gap between science and technology – Case study of a solar cell [J]. Technological forecasting and social change, 2010, 77 (7): 1147–1155.

[2] 凌贵, 段依竺, 李莎. 知识流动视角下战略性新兴技术培育机制探究[J]. 科技创业月刊, 2021, 34(5): 43–46.
LING G, DUAN Y Z, LI S. Creatingmechanism of strategic emerging technologies based on knowledge flows[J]. Pioneering with science & technology monthly, 2021, 34(5): 43–46.

[3] JAFFE A B. Real effects of academic research [J]. The American economic review, 1989, 79(5): 957–970.

[4] AUTANT–BERNARD C. Science and knowledge flows: Evidence from the French case[J]. Research policy, 2001, 30(7): 1069–1078.

[5] 刘雨梦, 郑稣鹏. 基础科学、技术科学及工程应用的“链合” 演化

表 9　科学 - 技术知识流动微观网络结构案例 3 相关文献

Table 9　Related literature of micro-network structure case 3

文献序号	文献 ID	所属领域	标题	发表/公开年份	所属机构
论文 C_1	10.1007/ bf00290140	生物化学与分子生物学 基因与遗传学	乳酸乳球菌中芳香氨基酸生物合成的遗传方面	1995	Norwich Research Park
论文 C_2	10.1007/ bf00338997	生物化学与分子生物学 基因与遗传学	广泛宿主范围质粒 RK2 复制起点区的核苷酸序列	1981	University of California San Diego
专利 C_1	US6248876B1	G01 测试与测量	草甘膦耐受性 5-enolpyruvylshikimate -3-phosphate 合酶	2001	Bayer AG
专利 C_2	US10407741B2	C07 有机化学	转基因玉米事件 MON87403 及其检测方法	2019	Bayer AG

DOI：10.13998/j.cnki.issn1002-1248.23-0750

研究——国家级协同创新中心纵向案例[J]. 科学学研究, 2022, 40(10): 1745-1755.
LIU Y M, ZHENG S P. Bridging science, engineering science and engineering in innovation chain taking national-level collaborative innovation centers as examples[J]. Studies in science of science, 2022, 40(10): 1745-1755.
[6] PAN W W, JIAN L R, LIU T. Knowledge generation and diffusion in science & technology: An empirical study of SiC-MOSFET based on scientific papers and patents[J]. Technology analysis & strategic management, 2022: 1-17.
[7] 文剑英. 科技成果转化的理性思考[J]. 科研管理, 2019, 40(5): 175-181.
WEN J Y. A critical thinking on commercialization of scientific and technological knowledge[J]. Science research management, 2019, 40(5): 175-181.
[8] NARIN F, HAMILTON K S, OLIVASTRO D. The increasing linkage between U.S. technology and public science[J]. Research policy, 1997, 26(3): 317-330.
[9] 赖奎魁, 张善斌. 建构商业方法技术扩散模式: 整合专利引证及贝氏模式[J]. 科技管理学刊, 2004, 9(1): 1-34.
LAI K K, ZHANG S B. Constructing a business method technology diffusion model: Integrating patent citations and Bayesian model[J]. Journal of science and technology management, 2004, 9(1): 1-34.
[10] VERBEEK A, DEBACKERE K, LUWEL M. Science cited in patents: A geographic "flow" analysis of bibliographic citation patterns in patents[J]. Scientometrics, 2003, 58(2): 241-263.
[11] 赵黎明, 高杨, 韩宇. 专利引文分析在知识转移机制研究中的应用[J]. 科学学研究, 2002, 20(3): 297-300.
ZHAO L M, GAO Y, HAN Y. Application of patent citation analysis to the research of knowledge-transfer mechanism[J]. Studies in science of science, 2002, 20(3): 297-300.
[12] 李春成. 科学技术体系化动力机制及技术科学知识的八个来源[J]. 创新科技, 2022, 22(11): 12-21.
LI C C. Dynamic mechanism of science and technology systematization and eight sources of knowledge on technological sciences[J]. Innovation science and technology, 2022, 22(11): 12-21.
[13] NARIN F, NOMA E. Is technology becoming science?[J]. Scientometrics, 1985, 7(3): 369-381.
[14] SCHMOCH U. Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in patent indicators[J]. Scientometrics, 1993, 26(1): 193-211.
[15] 董坤, 许海云, 罗瑞, 等. 科学与技术的关系分析研究综述[J]. 情报学报, 2018, 37(6): 642-652.
DONG K, XU H Y, LUO R, et al. Review of the research on relationship between science and technology[J]. Journal of the China society for scientific and technical information, 2018, 37(6): 642-652.
[16] STOLPE M. Determinants of knowledge diffusion as evidenced in patent data: The case of liquid crystal display technology[J]. Research policy, 2002, 31(7): 1181-1198.
[17] PARK G, PARK Y. On the measurement of patent stock as knowledge indicators [J]. Technological forecasting and social change, 2006, 73(7): 793-812.
[18] MEYER M, DEBACKERE K, GL?NZEL W. Can applied science be "good science"? Exploring the relationship between patent citations and citation impact in nanoscience[J]. Scientometrics, 2010, 85(2): 527-539.
[19] GLANZEL W, MEYER M. Patents cited in the scientific literature: An exploratory study of "reverse" citation relations[J]. Scientometrics, 2003, 58(2): 415-428.
[20] 高继平, 丁堃, 滕立, 等. 专利—论文混合共被引网络下的知识流动探析[J]. 科学学研究, 2011, 29(8): 1184-1189, 1146.
GAÖ J P, DING K, TENG L, et al. Analysis on knowledge flow in hybrid documents co-citation network[J]. Studies in science of science, 2011, 29(8): 1184-1189, 1146.
[21] 高继平, 丁堃, 滕立, 等. 专利-论文混合共被引分析法的实现及其应用——以德温特专利数据库为例[J]. 情报学报, 2012, 31(3): 317-324.
GAO J P, DING K, TENG L, et al. Implementation and application of co-citation analysis for "publications+patents literature": A case with Derwent innovation index[J]. Journal of the China society for scientific and technical information, 2012, 31(3): 317-324.
[22] GAO J P, DING K, TENG L, et al. Hybrid documents co-citation analysis: Making sense of the interaction between science and technology in technology diffusion[J]. Scientometrics, 2012, 93(2): 459-

471.
[23] HUANG M H, YANG H W, CHEN D Z. Increasing science and technology linkage in fuel cells: A cross citation analysis of papers and patents[J]. Journal of informetrics, 2015, 9(2): 237–249.
[24] YU D J, YAN Z P. Combining machine learning and main path analysis to identify research front: From the perspective of science–technology linkage[J]. Scientometrics, 2022, 127(7): 4251–4274.
[25] BATTISTON F, NICOSIA V, LATORA V. Structural measures for multiplex networks[J]. Physical review E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics, 2014, 89(3): 032804.
[26] BERLINGERIO M, COSCIA M, GIANNOTTI F, et al. Foundations of multidimensional network analysis[C]//2011 International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining. Piscataway, New Jersey: IEEE, 2011: 485–489.
[27] WANG P, ROBINS G, PATTISON P, et al. Exponential random graph models for multilevel networks[J]. Social networks, 2013, 35(1): 96–115.

Analysis Framework of Science-Technology Microcosmic Knowledge Flow Based on a Multi-layer Network

WU Ning[1,2], YANG Yanping[1,2*]

(1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190; 2. Department of Information Resources Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract: [Purpose/Significance] Today, the methods of global technology cooperation have become diversified, while the patterns of knowledge and resource flows have become networked. The way knowledge flows between science and technology and promotes innovation is a hot topic in informatics research. Under such circumstances, the transfer and flow of technical knowledge has become increasingly important for the creation of new technologies and the generation of new knowledge. It can provide potential solutions for solving technical problems and generating technological competitive advantages. This study reveals the structural characteristics of the knowledge flow network between science and technology from a micro perspective, and provides new ideas for discovering new knowledge flow and communication channels, understanding the links between science and technology, and exploring innovation breakthroughs. [Method/Process] This paper adopts a multi-perspective approach and exames technical knowledge citation, scientific knowledge citation, and the intersection of scientific knowledge. Specifically, the study focuses on patent-patent citation, patent-paper citation, and paper-discipline co-occurrence, and uses a multi-layer network method to develop a science-technology (S&T) knowledge flow micro-network analysis framework. Through this framework, knowledge flow patterns between science and technology can be comprehensively explored. An empirical study was conducted in the field of genetically modified corn to investigate the knowledge flow patterns between science and technology. Using a multi-layered network model, this study aims to explore the relationship between

DOI：10.13998/j.cnki.issn1002-1248.23-0750

science and technology from three different perspectives. [Results/Conclusions] The results of the study suggest that technology nodes that absorb multidisciplinary knowledge are more likely to engage in knowledge diffusion or absorption. Additionally, knowledge flow is more likely to occur between the technology nodes corresponding to two interdisciplinary subjects. The analytical framework proposed in our study can reveal the characteristics of knowledge flow from a micro perspective, and can identify two types of knowledge flow structures in the empirical case of genetically modified corn, which extends and enriches existing research on knowledge flow. In the future, the S&T knowledge flow research framework proposed in this study has the potential to be further extended and widely applied by incorporating different types of knowledge subjects, enriching knowledge attribute factors, and expanding knowledge flow paths. For instance, the research framework can be extended to broader fields to explore the relationship between knowledge flow patterns and the characteristics of these fields. It can also be used to explore knowledge flow patterns and potential technological breakthroughs at different flow levels and innovation themes. Such research can serve as a basis for innovation policy and provide theoretical support for the development of strategies and technology research directions.

Keywords: knowledge flows; science-technology linkages; multi-layered networks; intellectual property rights; technical prediction